

ガソリンサロゲート燃料を用いた直噴ガソリンエンジンのPM排出特性

日大生産工(院) ○有川 純一

千葉大(院) Ankur Gupta

千葉大 窪山 達也

日大生産工 今村 幸 山崎 博司 秋濱 一弘

1 まえがき

近年, 走行燃費向上に有利なため筒内直接噴射型(直噴)ガソリンエンジンの普及が拡大しているが, 直噴ガソリンエンジンはポート噴射型ガソリンエンジンと比べて粒子状物質(PM)の排出量が多いことが問題視されている¹⁾。そのような背景から各国では乗用車から排出される排ガスのPM規制が厳格化されており, 国内の自動車メーカーは排ガス規制進むよりも早い段階で新たなPM排出低減法を確立していく必要がある。そこで, 3次元数値流体計算(3D-CFD)を用いた開発を行うことで直噴ガソリンエンジン筒内からのPM排出特性を試作前に予測し, 予測結果をエンジン開発に反映することによって, 従来行われてきた実機ベースの開発手法よりも開発効率を高めることができる。そのためには3D-CFD計算法の改善のための実機検証データが必要になる。本研究では量産ピストンからフラットピストンに変更し, 3D-CFD計算が可能で, 市販ガソリンの物理的, 化学的な特性を模擬したサロゲート燃料を用いて, 直噴ガソリンエンジンのPM排出特性を明らかにするとともに, 検証データの構築を目的とする。

2 実験方法および測定方法

本研究で使用したエンジンの主要諸元を表1に示す。供試機関として, 10MPa~20MPaまでの高圧噴射システムを実装した4サイクル・単気筒・直噴ガソリンエンジンを用いた。供試機関のボアは $\Phi 79.7\text{mm}$, ストロークは81.1mm, 排気量は 404.6cm^3 , 実測した圧縮比は9.55である。

実験条件を表2に示す。エンジン回転数を1200rpm, 吸気温度は暖気過程条件を模擬するために 30°C で一定とした。また, 冷間始動~暖気過程における温度条件を模擬するため, Chiller(PAU-AZW8000-HC, APISTE)を用いて冷却水温 8°C ~ 80°C まで変化させ実験を行った。また, 市販ガソリンのすす生成挙動は -320deg.ATDC や -75deg.ATDC 付近ですすが増加する特徴があるため燃料噴射時期は -320deg.ATDC ~ -75deg.ATDC まで変化させた。負荷(グロス図示平均有効圧, IMEP gross)と燃焼位相(CA50)及び空気過剰率をそれぞれ0.7MPa, 0.9deg.ATDC及び1.0に合わせた。燃料噴射圧は10MPa一定とした。

表1 エンジンの仕様

Type	4-stroke, 4-valve single cylinder
Fuel injection system	Side-mounted direct injection
Displacement	404.6cm^3
Bore $\times$ stroke	$\Phi 79.7 \times 81.1\text{mm}$
Compression ratio	9.55

表2 実験条件

Engine speed	1200rpm
Intake air temperature	30°C
Intake air pressure	$80.0\sim 85.0\text{KPa}$
IMEP_gross	0.7MPa
CA50	$\approx 9\text{ deg. ATDC}$
Coolant temperature	$80^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C}, 8^\circ\text{C}$
Start of fuel injection (SOI)	$-320 \sim -90\text{ deg. ATDC}$
Excess air ratio	1.0
Fuel injection pressure	10MPa

Fig.1に実験装置図を示す。すす計測法として光学式スモークメータ(LEX-635s, 司測研)を排気ポート出口より200cm下流側に取り付けたサージタンク直後に設置し直接サンプリングを行った。燃焼分析システムKiboxを使用し負荷(グロス図示平均有効圧, IMEP gross)と燃焼位相(CA50)を測定した。

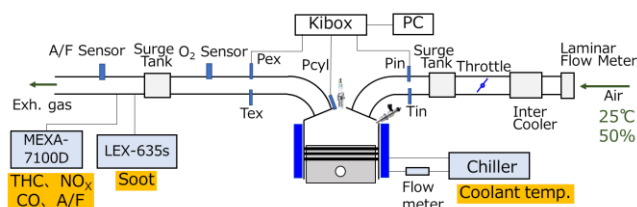


Fig.1 実験装置図

Study of Particulate Matter Emissions from a DI Gasoline Engine with Gasoline Surrogate Fuel

Junichi ARIKAWA, Ankur GUPTA, Tatsuya KUBOYAMA, Hiroshi YAMASAKI
Osamu IMAMURA and Kazuhiro AKIHAMA

4 実験結果および検討

市販ガソリン燃料は様々な種類の炭化水素から構成されており、全ての成分を考慮しながらすすの排出特性を数値シミュレーションにより予測することや、実験的に解析することは難しい。そのため構成化学種を大幅に減らしながらも、市販ガソリンの微粒子排出特性を模擬し得るサロゲート燃料が用いられることが多い。本研究では3成分混合サロゲート燃料(PM3)、市販ガソリンとしてレギュラーガソリンを用いて実験を行った。表3にPM3の性状を示す²⁾。その推定オクタン価は95で欧州のレギュラーガソリン相当である。

また、CFD計算が容易な検証データとするために、複雑な形状の量産ピストンから単純形状のフラットピストンに変更して実験を行ったことが今回の特徴である。

Fig.2に水温8℃、30℃、80℃におけるレギュラーガソリンのすすの排出濃度を示す。縦軸は対数スケールである。すす排出濃度は燃料噴射時期に強く影響を受けることがわかる。燃料噴射時期を吸気行程前半(-240deg.ATDCよりも早期)と圧縮行程後半(-120deg.ATDC以降)に設定した場合にすすの排出濃度が増大することが確認された。燃料噴射時期が吸気行程前半および圧縮行程後半の場合には、噴射燃料がピストンに衝突し、液膜を形成することが起因している。また、-200deg.ATDC付近でもすすの排出濃度が増大しておりグラフの形がWを形成していることが確認された。

Fig.3には水温8℃、30℃、80℃におけるPM3のすすの排出濃度を示す。縦軸は対数スケールである。

PM3はレギュラーガソリンの場合と比べると高沸点成分が少ないのですすの排出量は低い傾向となっているが、レギュラーガソリンの場合と同様に吸気行程前半(-240deg.ATDCよりも早期)と圧縮行程後半(-120deg.ATDC以降)にすすの排出濃度が増大している。また、-200deg.ATDC付近でも増大する傾向があり、グラフがWを形成している。このことからPM3を用いた場合でも市販ガソリンと同様の噴射時期特性を示すことが確認された。このことからPM3を用いたCFD計算が市販ガソリンの排気傾向を再現しうることを示している。また、Fig.3の結果を再現できるように3D-CFD計算法を改善することができ、検証データとして活用できる。

表3 PM3の性状

Component	Vol.% in fuel
Iso-octane	65
n-heptane	10
Toluene	25

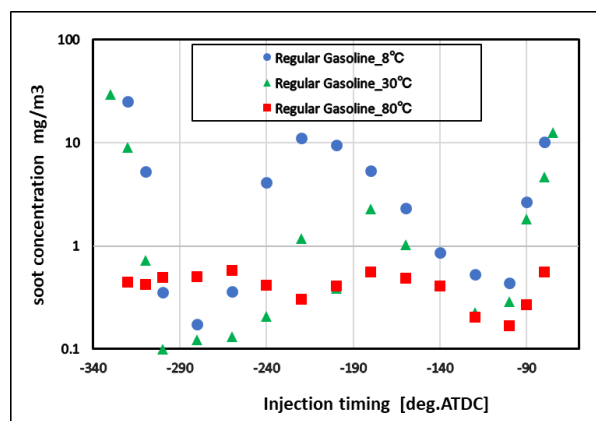


Fig.2 レギュラーガソリンによるすすの排出濃度への噴射時期の影響

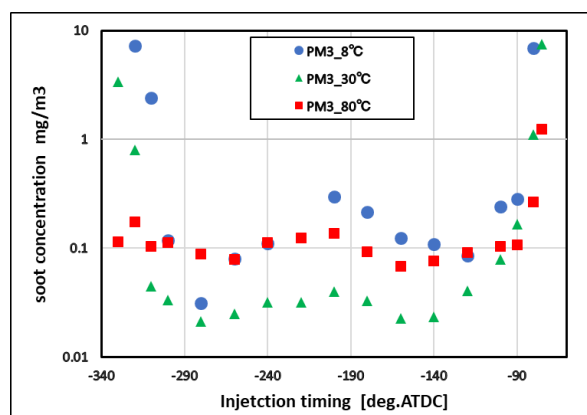


Fig.3 PM3によるすすの排出濃度への噴射時期の影響

5 まとめ

本研究ではPM3を用いてエンジン実験を行った結果、PM3は市販ガソリンの噴射時期特性と同様の傾向を示すことを確認した。また、今後3D-CFD計算の検証データとしての活用が期待できる。

参考文献

- 1) F Zhao, M.-C Laia, D.L Harringtonb, “Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol.25, No.5(1999), pp. 437–562
- 2) 田中万里子, 永田勇気, 石井一洋, 小橋好充: 反射衝撃波背後におけるガソリンサロゲート燃料の煤生成に及ぼす当量比の影響, 第55回燃焼シンポジウム, (2017.11)